

## 明 細 書

### 光電子増倍管

### 技術分野

- [0001] この発明は、光電面によって生成された光電子をカスケード増倍する電子増倍部を有する光電子増倍管に関するものである。

### 背景技術

- [0002] 従来から光センサとして光電子増倍管(PMT:Photo-Multiplier Tube)が知られている。光電子増倍管は、光を電子に変換する光電面(Photocathode)、集束電極、電子増倍部、及び陽極を備え、それらを真空容器に収めて構成される。光電子増倍管では、光が光電面に入射すると、光電面から真空容器中に光電子が放出される。その光電子は集束電極によって電子増倍部に導かれ、該電子増倍部によってカスケード増倍される。陽極は増倍された電子のうち到達した電子を信号として出力する(例えば、下記特許文献1及び特許文献2参照)。

特許文献1:特許第3078905号公報

特許文献2:特開平4-359855号公報

### 発明の開示

### 発明が解決しようとする課題

- [0003] 発明者らは、従来の光電子増倍管について検討した結果、以下のような課題を発見した。
- [0004] すなわち、光センサの用途が多様化するにつれ、より小型の光電子増倍管が求められている。一方、このような光電子増倍管の小型化に伴い、当該光電子増倍管を構成する部品に高精度の加工技術が要求されるようになってきた。特に、部材自体の微細化が進めば、該部品間における精密な配置が実現し難くなってくるため、高い検出精度は得られず、また、製造された光電子増倍管ごとに検出精度のバラツキが大きくなってしまう。
- [0005] この発明は、上述のような課題を解決するためになされたものであり、より高い増倍効率が得られる微細構造の光電子増倍管を提供することを目的としている。

### 課題を解決するための手段

- [0006] この発明に係る光電子増倍管は、光電面によって生成された光電子をカスケード増倍する電子増倍部を有する光センサであって、該光電面の配置位置により、光の入射方向と同じ方向に光電子を放出する透過型光電面を有する光電子増倍管と、光の入射方向と異なる方向に光電子を放出する反射型光電面を有する光電子増倍管がある。
- [0007] 具体的に当該光電子増倍管は、光電子増倍管内部が真空状態に維持された外囲器と、該外囲器内に収納された光電面と、該外囲器内に収納された電子増倍部と、少なくとも一部が該外囲器内に収納された陽極を備える。上記外囲器は、ガラス材料からなる下側フレームと、電子増倍部と陽極とが一体的にエッチング加工された側壁フレームと、ガラス材料又はシリコン材料からなる上側フレームとで構成されている。
- [0008] 上記電子増倍部は、電子の進行方向に沿って伸びた溝部又は貫通孔を有する。溝部はエッチング技術により微細加工された一对の壁部により規定される。特に、該溝部を規定する一对の壁部それぞれの表面には、光電面からの光電子をカスケード増倍するための二次電子放出面が表面に形成された1又はそれ以上の凸部が、該電子の進行方向に沿って設けられている。このように二次電子放出面が形成された壁部表面に凸部が設けられることにより、陽極に向かう電子が該壁部に衝突する可能性が飛躍的に高くなるため、微細構造においても十分な電子増倍率が得られる。なお、現実的には、二次電子放出面は、凸部表面のみならず、該凸部表面を含む壁部の表面全体に形成される。
- [0009] この発明に係る光電子増倍管において、上記一对の壁部のうち一方の壁部の表面に設けられた凸部と、他方の壁部の表面に設けられた凸部は、光電面からの電子の進行方向に沿って交互に配置されるのが好ましい。この構成により、光電面からの電子は、少なくともいずれか一方の壁部に衝突する可能性が高まる。
- [0010] より具体的には、上記一对の壁部のうち一方の壁部の表面に設けられた凸部の高さBは、該一对の壁部の間隔Aに対して、 $B \geq A/2$ なる関係を満たすのがより好ましい。一对の壁部表面にそれぞれ設けられた凸部がこの関係を満たすことにより、陽極に向かって溝部を進行する電子は、直線軌道を取りえなくなるため、陽極に向かう該

電子は少なくとも一回は一对の壁部のいずれかに衝突することにより、確実に二次電子増倍率の向上に寄与しえるからである。

[0011] 一方、上記電子増倍が貫通孔を有する場合、該貫通孔はエッチング技術により微細加工された壁部により規定される。この貫通孔を規定する壁部それぞれの表面にも、光電面からの光電子をカスケード増倍するための二次電子放出面が表面に形成された1又はそれ以上の凸部が設けられている。このように二次電子放出面が形成された壁部表面に凸部が設けられることにより、陽極に向かう電子が該壁部に衝突する可能性が飛躍的に高くなるため、微細構造においても十分な電子増倍率が得られる。なお、現実的には、二次電子放出面は、凸部表面のみならず、該凸部表面を含む壁部の表面全体に形成される。

[0012] なお、この発明に係る各実施例は、以下の詳細な説明及び添付図面によりさらに十分に理解可能となる。これら実施例は単に例示のために示されるものであって、この発明を限定するものと考えるべきではない。

[0013] また、この発明のさらなる応用範囲は、以下の詳細な説明から明らかになる。しかしながら、詳細な説明及び特定の事例はこの発明の好適な実施例を示すものではあるが、例示のためにのみ示されているものであって、この発明の思想及び範囲における様々な変形および改良はこの詳細な説明から当業者には自明であることは明らかである。

#### 発明の効果

[0014] この発明によれば、光電面から放出された光電子が陽極に向かう間に走行する溝部において、該溝部を規定する一对の壁部それぞれの表面に1又はそれ以上の凸部が設けられることにより、該一对の壁部に電子が衝突する確率が飛躍的に高まり、該壁部表面に形成された二次電子放出面における二次電子の増倍効率が飛躍的に向上する。

#### 図面の簡単な説明

[0015] [図1]は、この発明に係る光電子増倍管の一実施例の構成を示す斜視図である。

[図2]は、図1に示された光電子増倍管の組立工程図である。

[図3]は、図1中のI-I線に沿った光電子増倍管の構造を示す断面図である。

[図4]は、図1に示された光電子増倍管における電子増倍部の構造を示す斜視図である。

[図5]は、電子増倍部における溝部に設けられた凸部の機能について説明するための図である。

[図6]は、電子増倍部における溝部に設けられた凸部と、該溝部を規定する壁部との関係を説明するための図である。

[図7]は、図1に示された光電子増倍管の製造工程を説明するための図である(その1)。

[図8]は、図1に示された光電子増倍管の製造工程を説明するための図である(その2)。

[図9]は、この発明に係る光電子増倍管他の構造を示す図である。

[図10]は、この発明に係る光電子増倍管が適用された検出モジュールの構成を示す図である。

#### 符号の説明

[0016] 1a…光電子増倍管、2…上側フレーム、3…側壁フレーム、4…下側フレーム(ガラス基板)、22…光電面、31…電子増倍部、32…陽極、42…陽極端子。

#### 発明を実施するための最良の形態

[0017] 以下、この発明に係る光電子増倍管及びその製造方法を、図1〜図10を用いて詳細に説明する。なお、図面の説明において、同一部分には同一符号を付して、重複する説明を省略する。

[0018] 図1は、この発明に係る光電子増倍管の一実施例の構造を示す斜視図である。この図1に示された光電子増倍管1aは、透過型の電子増倍管であって、上側フレーム2(ガラス基板)と、側壁フレーム3(シリコン基板)と、下側フレーム4(ガラス基板)により構成された外囲器を備える。この光電子増倍管1aは光電面への光の入射方向と、電子増倍部での電子の走行方向が交差する、つまり図1中の矢印Aで示された方向から光が入射されると、光電面から放出された光電子が電子増倍部に入射し、矢印Bで示された方向に該光電子が走行して行くことにより二次電子をカスケード増倍する光電子増倍管である。引き続き各構成要素について説明する。

- [0019] 図2は、図1に示された光電子増倍管1aを上側フレーム2、側壁フレーム3、及び下側フレーム4に分解して示す斜視図である。上側フレーム2は、矩形平板状のガラス基板20を基材として構成されている。ガラス基板20の主面20aには矩形の凹部201が形成されており、凹部201の外周はガラス基板20の外周に沿うように形成されている。凹部201の底部には光電面22が形成されている。この光電面22は凹部201の長手方向の一端近傍に形成されている。ガラス基板20の主面20aと対向する面20bには孔202が設けられており、孔202は光電面22に達している。孔202内には光電面端子21が配置され、該光電面端子21は光電面22に接触している。なお、この第1実施例では、ガラス材料からなる上側フレーム2自体が透過窓として機能する。
- [0020] 側壁フレーム3は、矩形平板状のシリコン基板30を基材として構成されている。シリコン基板30の主面30aからそれに対向する面30bに向かって、凹部301及び貫通部302が形成されている。凹部301及び貫通部302は共にその開口が矩形であって、凹部301及び貫通部302は互いに連結されており、その外周はシリコン基板30の外周に沿うように形成されている。
- [0021] 凹部301内には電子増倍部31が形成されている。電子増倍部31は、凹部301の底部301aから互いに沿うように立設している複数の壁部311を有する。このように、壁部311それぞれの間には溝部が構成されている。この壁部311の側壁(各溝部を規定する側壁)及び底部301aには二次電子放出材料からなる二次電子放出面が形成されている。壁部311は凹部301の長手方向に沿って設けられており、その一端は凹部301の一端と所定の距離を開けて配置され、他端は貫通部302に臨む位置に配置されている。貫通部302内には陽極32が配置されている。陽極32は貫通部302の内壁との間に空隙部を設けて配置されており、下側フレーム4に陽極接合又は拡散接合によって固定されている。
- [0022] 下側フレーム4は、矩形平板状のガラス基板40を基材として構成されている。ガラス基板40の主面40aからそれに対向する面40bに向かって、孔401、孔402、及び孔403がそれぞれ設けられている。孔401には光電面側端子41が、孔402には陽極端子42が、孔403には陽極側端子43が、それぞれ挿入固定されている。また、陽極端子42は側壁フレーム3の陽極32に接触している。

- [0023] 図3は、図1中のI-I線に沿った光電子増倍管1aの構造示す断面図である。既に説明されたように、上側フレーム2の凹部201の一端における底部分には光電面22が形成されている。光電面22には光電面端子21が接触しており、光電面端子21を介して光電面22に所定電圧が印加される。上側フレーム2の主面20a(図2参照)と側壁フレーム3の主面30a(図2参照)とが陽極接合又は拡散接合により接合されることにより、上側フレーム2が側壁フレーム3に固定される。
- [0024] 上側フレーム2の凹部201に対応する位置には側壁フレーム3の凹部301及び貫通部302が配置されている。側壁フレーム3の凹部301には電子増倍部31が配置されており、凹部301の一端の壁と電子増倍部31の間には空隙部301bが形成されている。この場合、上側フレーム2の光電面22の直下に側壁フレーム3の電子増倍部31が位置することになる。側壁フレーム3の貫通部302内には陽極32が配置されている。陽極32は貫通部302の内壁と接しないように配置されているので、陽極32と貫通部302との間には空隙部302aが形成されている。また、陽極32は下側フレーム4の主面40a(図2参照)に陽極接合又は拡散接合により固定されている。
- [0025] 側壁フレーム3の面30b(図2参照)と下側フレーム4の主面40a(図2参照)とが陽極接合又は拡散接合されることにより、下側フレーム4が側壁フレーム3に固定される。このとき、側壁フレーム3の電子増倍部31も下側フレーム4に陽極接合又は拡散接合により固定される。それぞれガラス材料からなる上側フレーム2及び下側フレーム4が側壁フレーム3を挟み込んだ状態で、それぞれ該側壁フレームに接合されることにより、当該電子増倍管1aの外囲器が得られる。なお、この外囲器内部には空間が形成されており、これら上側フレーム2、側壁フレーム3、及び下側フレーム4からなる外囲器を組み立てる際に真空気密の処理がなされて該外囲器の内部が真空状態に維持される(詳細は後述する)。
- [0026] 下側フレーム4の光電面側端子401及び陽極側端子403はそれぞれ側壁フレーム3のシリコン基板30に接触しているので、光電面側端子401及び陽極側端子403にそれぞれ所定の電圧を印加することでシリコン基板30の長手方向(光電面22から光電子が放出される方向と交差する方向、電子増倍部31を二次電子が走行する方向)に電位差を生じさせることができる。また、下側フレーム4の陽極端子402は側壁フ

レーン3の陽極32に接触しているので、陽極32に到達した電子を信号として取り出すことができる。

[0027] 図4には、側壁フレーム3の壁部311近傍の構造が示されている。シリコン基板30の凹部301内に配置されている壁部311の側壁には凸部311aが形成されている。凸部311aは対向する壁部311に互い違いになるように交互に配置されている。凸部311aは壁部311の上端から下端まで一様に形成されている。

[0028] 光電子増倍管1aは、以下のように動作をする。すなわち、下側フレーム4の光電面側端子401には-2000Vが、陽極側端子403には0Vがそれぞれ印加されている。なお、シリコン基板30の抵抗は約10M $\Omega$ である。また、シリコン基板30の抵抗値は、シリコン基板30のボリューム、例えば厚さを変えることによって調整することができる。例えば、シリコン基板の厚さを薄くすることによって、抵抗値を上げることができる。ここで、ガラス材料からなる上側フレーム2を介して光電面22に光が入射すると、光電面22から側壁フレーム3に向けて光電子が放出される。この放出された光電子は、光電面22の直下に位置する電子増倍部31に到達する。シリコン基板30の長手方向には電位差が生じているので、電子増倍部31に到達した光電子は陽極32側へ向かう。電子増倍部31は複数の壁部311で規定される溝が形成されている。したがって、光電面22から電子増倍部31に到達した光電子は壁部311の側壁及び互いに対向する側壁311間の底部301aに衝突し、複数の二次電子を放出する。電子増倍部31では次々に二次電子のカスケード増倍が行われ、光電面から電子増倍部への到達する電子1個当たり $10^5 \sim 10^7$ 個の二次電子が生成される。この生成された二次電子は陽極32に到達し、陽極端子402から信号として取り出される。

[0029] 次に、溝部を規定する壁部311の表面に設けられる凸部311aの機能について図5を用いて説明する。

[0030] まず、図5中の領域(a)には、比較例として、表面に凸部が設けられていない壁部311によって規定された電子増倍部31の溝部が示されている。図5中の領域(a)に示されたような構造の場合、溝部を進行する電子が壁部311に衝突することなく陽極に到達する可能性が高くなるため、該壁部表面に形成された二次電子放出面への衝突回数の減少により電子増倍率が著しく低下する可能性がある。また、呼応電子増

倍管1a内部のガスに電子が衝突することにより発生する正イオンが、例えば溝部の陽極側端部近傍で発生した場合には、最大で溝部の陽極側端部から光電面側端部までの電位差Dに相当するエネルギーを有して、電子の走行方向とは逆の方向に走行する。そのため、光電面22に入射してしまったり、あるいは電位差に相当するエネルギーをもって壁部311に衝突することで、擬似二次電子が放出され、出力電流特性が悪化してしまう可能性がある。

- [0031] 一方、図5中の領域(b)に示されたように、電子増倍部31の溝部を規定する壁部311の表面に凸部311aが設けられた構造では、上述のような課題は解決され、飛躍的に電子増倍効率を向上させることが可能になる。
- [0032] すなわち、1つの溝部を規定する一方の壁部の表面に設けられた凸部と、他方の壁部の表面に設けられた凸部とが、光電面側から陽極側へ向かう電子の進行方向に沿って交互に配置された構成では、壁部に衝突することなく陽極32に到達する確率が飛躍的に低下していく。このため、光電面22からの電子は、少なくともいずれか一方の壁部(二次電子放出面)に衝突する可能性が高まり、十分な電子増倍効率を得られることになる。
- [0033] なお、凸部311aの高さBは、互いに隣接する壁部311の間隔Aに対して、 $B \geq A/2$ なる関係を満たすのがより好ましい(図6参照)。この場合、陽極32に向かって溝部を進行する電子は、直線軌道を取りえなくなるため、該電子は少なくとも一回は一对の壁部のいずれかに衝突することにより、確実に二次電子増倍率の向上に寄与しえるからである。
- [0034] なお、上述の実施例では、透過型の光電子電子増倍管について説明したが、この発明に係る光電子増倍管は、反射型であってもよい。例えば、電子増倍部31の陽極側端とは逆側の端部に光電面を形成することにより、反射型の光電子増倍管が得られる。また、電子増倍部31の陽極側とは逆の端部側に傾斜面を形成し、この傾斜面上に光電面を形成することによっても反射型の光電子増倍管が得られる。いずれの構造でも、他の構造は上述の電子増倍管1aと同様の構造を有した状態で、反射型の光電子増倍管が得られる。
- [0035] また、上述の実施例では、外囲器内に配置される電子増倍部31が側壁フレーム3



を構成するシリコン基板30と接触した状態で一体形成されている。しかしながら、このように側壁フレーム3と電子増倍部31とが接触した状態では、該電子増倍部31が側壁フレーム3を介した外部雑音の影響を受けてしまい、検出精度が低下する可能性がある。そこで、側壁フレーム3と一体的に形成される電子増倍部31及び陽極32は、該側壁フレーム3から所定距離離間した状態で、ガラス基板40(下側フレーム4)にそれぞれ配置されてもよい。

[0036] さらに、上述の実施例では、外囲器の一部を構成する上側フレーム2がガラス基板20で構成されており、このガラス基板20自体が透過窓と機能している。しかしながら、上側フレーム2はシリコン基板で構成されてもよい。この場合、該上側フレーム2又は側壁フレーム3の何れかに、透過窓が形成される。透過窓の形成方法は、例えば、スパッタガラス基板の両面がシリコン基板で挟まれたSOI(Silicon On Insulator)基板の両面をエッチングし、露出したスパッタガラス基板の一部を透過窓として利用することができる。また、シリコン基板に数 $\mu\text{m}$ で柱状又はメッシュ状のパターンを形成し、この部分を熱酸化させることでガラス化してもよい。また、透過窓形成域のシリコン基板を厚さ数 $\mu\text{m}$ 程度になるようエッチングし、熱酸化させることでガラス化させてもよい。この場合、シリコン基板の両面からエッチングしてもよいし、片側のみからエッチングしてもよい。

[0037] 次に、図1に示された光電子増倍管1aの製造方法について説明する。当該光電子増倍管を製造する場合には、直径4インチのシリコン基板(図2の側壁フレーム3の構成材料)と、同形状の2枚のガラス基板(図2の上側フレーム2及び下側フレーム4の構成材料)とが準備される。それらには、微小な領域(例えば、数ミリ四方)ごとに以下に説明する加工が施される。以下に説明する加工が終了すると領域ごとに分割して光電子増倍管が完成する。引き続いて、その加工方法について、図7及び図8を用いて説明する。

[0038] まず、図7中の領域(a)に示されたように、厚さ0.3mm、比抵抗 $30\text{k}\Omega\cdot\text{cm}$ のシリコン基板50(側壁フレーム3に相当)が準備される。このシリコン基板50の両面にそれぞれシリコン熱酸化膜60及びシリコン熱酸化膜61が形成される。シリコン熱酸化膜60及びシリコン熱酸化膜61は、DEEP-RIE(Reactive Ion Etching)加工時のマスクと

して機能する。続いて、図7中の領域(b)に示されたように、レジスト膜70がシリコン基板50の裏面側に形成される。レジスト膜70には、図2の貫通部302と陽極32との間の空隙に対応する除去部701が形成されている。この状態でシリコン熱酸化膜61がエッチングされると、図2の貫通部302と陽極32との間の空隙部に対応する除去部611が形成される。

[0039] 図7中の領域(b)に示された状態からレジスト膜70が除去された後、DEEP-RIE加工が行われる。図7中の領域(c)に示されたように、シリコン基板50には、図2の貫通部302と陽極32との間の空隙に対応する空隙部501が形成される。続いて、図7中の領域(d)に示されたように、レジスト膜71がシリコン基板50の表面側に形成される。レジスト膜71には、図2の壁部311と凹部301との間の空隙に対応する除去部711と、図2の貫通部302と陽極32との間の空隙に対応する除去部712と、図2の壁部311相互の間の溝に対応する除去部(図示せず)と、が形成されている。この状態でシリコン熱酸化膜60がエッチングされると、図2の壁部311と凹部301との間の空隙に対応する除去部601と、図2の貫通部302と陽極32との間の空隙に対応する除去部602と、図2の壁部311相互の間の溝に対応する除去部(図示せず)と、が形成される。

[0040] 図7中の領域(d)の状態からシリコン熱酸化膜61が除去された後、シリコン基板50の裏面側にガラス基板80(下側フレーム4に相当)が陽極接合される(図7中の領域(e)参照)。このガラス基板80には、図2の孔401に相当する孔801、図2の孔402に対応する孔802、図2の孔403に対応する孔803がそれぞれ予め加工されている。続いて、シリコン基板50の表面側では、DEEP-RIE加工が行われる。レジスト膜71はDEEP-RIE加工時のマスク材として機能し、アスペクト比の高い加工を可能にする。DEEP-RIE加工後、レジスト膜71及びシリコン熱酸化膜61が除去される。図8中の領域(a)に示されたように、予め裏面から空隙部501の加工がなされていた部分についてはガラス基板80に到達する貫通部が形成されることにより、図2の陽極32に相当する島状部52が形成される。この陽極32に相当する島状部52はガラス基板80に陽極接合により固定される。また、このDEEP-RIE加工の際に、図2の壁部311間の溝に相当する溝部51と、図2の壁部311と凹部301との空隙に相当する凹部5

03とも形成される。ここで、溝部51の側壁及び底部301aには二次電子放出面が形成される。

[0041] 続いて、図8中の領域(b)に示されたように、上側フレーム2に相当するガラス基板90が準備される。ガラス基板90には座ぐり加工で凹部901(図2の凹部201に相当)が形成されており、ガラス基板90の表面から凹部901に至るように孔902(図2の孔202に相当)が設けられている。図8中の領域(c)に示されたように、図2の光電面端子21に相当する光電面端子92が孔902に挿入固定されるとともに、凹部901には光電面91が形成される。

[0042] 図8中の領域(a)まで加工が進んだシリコン基板50及びガラス基板80と、図8中の領域(c)まで加工が進んだガラス基板90とが、図8中の領域(d)に示されたように、真空気密の状態では陽極接合又は拡散接合により接合される。その後、図2の光電面側端子41に相当する光電面側端子81が孔801に、図2の陽極端子42に相当する陽極端子82が孔802に、図2の陽極側端子43に相当する陽極側端子83が孔803に、それぞれ挿入固定されることで、図8中の領域(e)に示された状態となる。この後、チップ単位で切り出されることにより、図1及び図2に示されたような構造を有する光電子増倍管が得られる。

[0043] 図9は、この発明に係る光電子増倍管の他の構造を示す図である。この図9には、光電子増倍管10の断面構造が示されている。光電子増倍管10は、図9中の領域(a)に示されたように、上側フレーム11と、側壁フレーム12(シリコン基板)と、第1下側フレーム13(ガラス部材)と、第2下側フレーム(基板)とがそれぞれ陽極接合されて構成されている。上側フレーム11はガラス材料からなり、その側壁フレーム12に対向する面には凹部11bが形成されている。この凹部11bの底部のほぼ全面に渡って光電面112が形成されている。光電面112に電位を与える光電面電極113と、後述される表面電極に接する表面電極端子111は、それぞれ凹部11bの一端及び他端にそれぞれ配置されている。

[0044] 側壁フレーム12は、シリコン基板12aに管軸方向と平行に多数の孔121が設けられている。この孔121の内面は電子を衝突させるための凸部121aが設けられており、この凸部121aを含めて該穴21の内面には二次電子放出面が形成されている。ま

た、孔121それぞれの両端の開口部近傍には表面電極122及び裏面電極123が配置されている。図9中の領域(b)には、孔121及び表面電極122の位置関係が示されている。この図9中の領域(b)に示されたように、孔121に臨むように表面電極122が配置されている。なお、裏面電極123についても同様である。表面電極122は表面電極端子111に接触し、裏面電極123には裏面電極端子143が接触している。したがって、側壁フレーム12にでは孔121の軸方向に電位が発生し、光電面112から放出された光電子は孔121内を図中下方に進行する。

- [0045] 第1下側フレーム13は、側壁フレーム12と第2下側フレーム14とを連結するための部材であって、側壁フレーム12と第2下側フレーム14との双方に陽極接合されている(拡散接合されてもよい)。
- [0046] 第2下側フレーム14は、多数の孔141が設けられたシリコン基板14aで構成されている。この孔141それぞれに陽極142が挿入固定されている。
- [0047] 図9に示された光電子増倍管10では、図中上方から入射した光は、上側フレーム11のガラス基板を透過して光電面112に入射する。この入射光に応じて光電面112から側壁フレーム12に向かって光電子が放出される。放出された光電子は第1下側フレーム13の孔121に入る。孔121に入った光電子は孔121の内壁に衝突しながら二次電子を生成し、生成された二次電子が第2下側フレーム14に向かって放出される。この放出された二次電子を陽極142が信号として取り出す。
- [0048] 次に、上述のような構造を有する光電子増倍管1aが適用される光モジュールについて説明する。図10中の領域(a)は、光電子増倍管1aが適用された分析モジュールの構造を示す図である。分析モジュール85は、ガラスプレート850と、ガス導入管851と、ガス排気管852と、溶媒導入管853と、試薬混合反応路854と、検出部855と、廃液溜856と、試薬路857を備える。ガス導入管851及びガス排気管852は、分析対象となるガスを分析モジュール85に導入又は排気するために設けられている。ガス導入管851から導入されたガスは、ガラスプレート850上に形成された抽出路853aを通り、ガス排気管852から外部に排出される。したがって、溶媒導入管853から導入された溶媒を抽出路853aを通すことによって、導入されたガス中に特定の関心物質(例えば、環境ホルモンや微粒子)が存在した場合、それらを溶媒中に抽出する

ことができる。

- [0049] 抽出路853aを通った溶媒は、抽出した関心物質を含んで試薬混合反応路854に導入される。試薬混合反応路854は複数あり、試薬路857からそれぞれに対応する試薬が導入されることで、試薬が溶媒に混合される。試薬が混合された溶媒は反応を行いながら試薬混合反応路854を検出部855に向かって進行する。検出部855において関心物質の検出が終了した溶媒は廃液溜856に廃棄される。
- [0050] 検出部855の構成を、図10中の領域(b)を参照しながら説明する。検出部855は、発光ダイオードアレイ855aと、光電子増倍管1aと、電源855cと、出力回路855bを備える。発光ダイオードアレイ855aは、ガラスプレート850の試薬混合反応路854それぞれに対応して複数の発光ダイオードが設けられている。発光ダイオードアレイ855aから出射された励起光(図中実線矢印)は、試薬混合反応路854に導かれる。試薬混合反応路854には関心物質が含まれうる溶媒が流れており、試薬混合反応路854内において関心物質が試薬と反応した後、検出部855に対応する試薬混合反応路854に励起光が照射され、蛍光又は透過光(図中破線矢印)が光電子増倍管1aに到達する。この蛍光又は透過光は光電子増倍管1aの光電面22に照射される。
- [0051] 既に説明したように光電子増倍管1aには複数の溝(例えば20チャンネル相当分)を有する電子増倍部が設けられているので、どの位置の(どの試薬混合反応路854の)蛍光又は透過光が変化したのかを検出できる。この検出結果は出力回路855bから出力される。また、電源855cは光電子増倍管1aを駆動するための電源である。なお、ガラスプレート850上にはガラス薄板(図示しない)が配置されていて、ガス導入管851、ガス排気管852、溶媒導入管853とガラスプレート850との接点部及び廃液溜856と試薬路857の試料注入部を除き、抽出路853a、試薬混合反応路854、試薬路857(試料注入部を除く)等を覆っている。
- [0052] 以上のようにこの発明によれば、電子増倍部31の溝部を規定する壁部311の表面に所望の高さを有する凸部311aが設けられることにより、電子増倍効率を飛躍的に向上させる。
- [0053] また、電子増倍部31にはシリコン基板30aを微細加工することにより溝が形成されており、また、シリコン基板30aはガラス基板40aに陽極接合又は拡散接合されてい

るため、振動する部分がない。したがって、各実施形態に係る光電子増倍管は耐震性、耐衝撃性に優れている。

[0054] 陽極32は、ガラス基板40aに陽極接合又は拡散接合されているため、溶接時の金属飛沫がない。このため、各実施例に係る光電子増倍管は電気的な安定性や耐震性、耐衝撃性が向上している。陽極32は、その下面全体でガラス基板40aと陽極接合又は拡散接合されるため、衝撃、振動で陽極32が振動しない。このため、当該光電子増倍管は耐震性、耐衝撃性が向上している。

[0055] また、当該電子増倍管の製造では、内部構造を組み立てる必要がなく、ハンドリングが簡単なため作業時間が短い。上側フレーム2、側壁フレーム3、及び下側フレーム4によって構成される外囲器(真空容器)と内部構造が一体的に構成されているので容易に小型化できる。内部には個々の部品がないため、電気的、機械的な接合が不要である。

[0056] 上側フレーム2、側壁フレーム3、及び下側フレーム4によって構成される外囲器の封止には特別な部材を必要としないため、この発明に係る光電子増倍管のようにウェハーサイズでの封止が可能である。封止後にダイシングして複数の光電子増倍管を得るため、作業が容易であって安価に製作できる。

[0057] 陽極接合又は拡散接合による封止のため異物が発生しない。このため、当該光電子増倍管は電気的な安定性や耐震性、耐衝撃性が向上している。

[0058] 電子増倍部31では、壁部311で構成される複数の溝の側壁に電子が衝突しながらカスケード増倍していく。このため、構造が簡単で多くの部品を必要としないため容易に小型化可能である。

[0059] 上述のような構造を有する光電子増倍管が適用された分析モジュール85によれば、微小な粒子の検出が可能となる。また、抽出から反応、検出までを連続して行うことができる。

[0060] 以上の本発明の説明から、本発明を様々に変形しうることは明らかである。そのような変形は、本発明の思想および範囲から逸脱するものとは認めることはできず、すべての当業者にとって自明である改良は、以下の請求の範囲に含まれるものである。

産業上の利用可能性

[0061] この発明に係る光電子増倍管は、微弱光の検出を必要とする種々の検出分野への適用が可能である。

## 請求の範囲

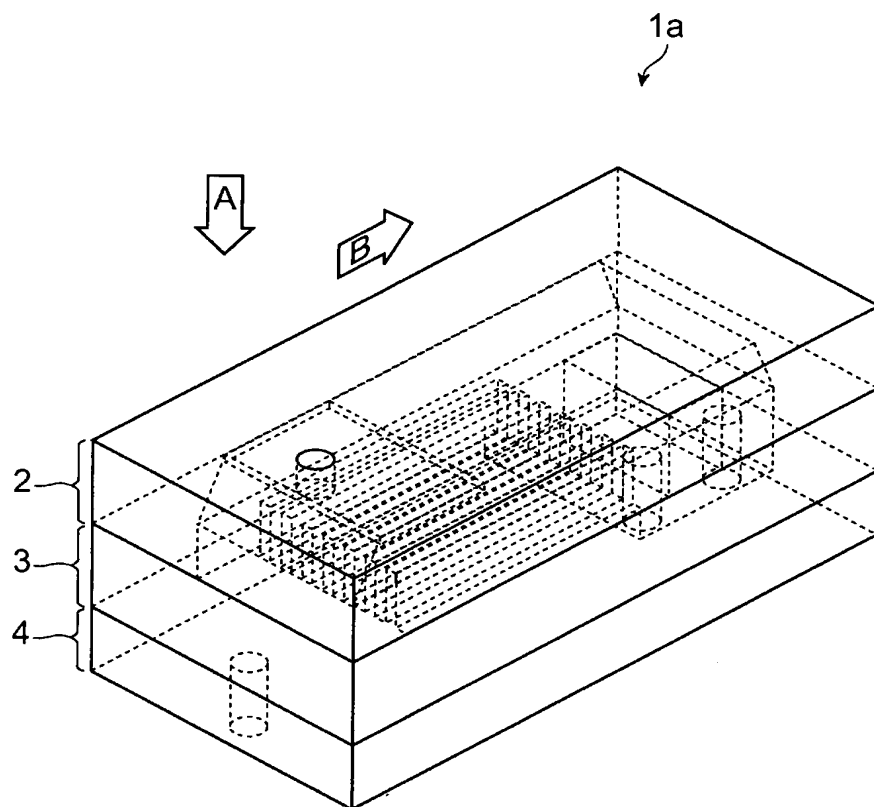
- [1] 内部が真空状態に維持された外囲器と、  
前記外囲器内に収納された光電面であって、該外囲器を介して取り込まれた光に応じて電子を該外囲器の内部に放出する光電面と、  
前記外囲器内に収納された電子増倍部であって、電子の進行方向に沿って伸びた溝部を有する電子増倍管と、そして、  
前記外囲器内に収納された陽極であって、前記電子増倍部でカスケード増倍された電子のうち到達した電子を信号として取り出すための陽極とを備えた光電子増倍管であって、  
前記溝部を規定する一对の壁部それぞれの表面には、前記光電面からの光電子をカスケード増倍するための二次電子放出面が表面に形成された1又はそれ以上の凸部が、前記電子の進行方向に沿って設けられている光電子増倍管。
- [2] 請求項1記載の光電子増倍管において、  
前記一对の壁部のうち一方の壁部の表面に設けられた凸部と、他方の壁部の表面に設けられた凸部は、前記電子の進行方向に沿って交互に配置されている。
- [3] 請求項1又は2のいずれか一項記載の光電子増倍管において、  
前記一对の壁部のうち一方の壁部の表面に設けられた前記凸部の高さBは、該一对の壁部の間隔Aに対して以下の関係を満たしている：  
$$B \geq A/2。$$
- [4] 内部が真空状態に維持された外囲器と、  
前記外囲器内に収納された光電面であって、該外囲器を介して取り込まれた光に応じて電子を該外囲器の内部に放出する光電面と、  
前記外囲器内に収納された電子増倍部であって、電子の進行方向に沿って伸びた貫通孔を有する電子増倍管と、そして、  
前記外囲器内に収納された陽極であって、前記電子増倍部でカスケード増倍された電子のうち到達した電子を信号として取り出すための陽極とを備えた光電子増倍管であって、  
前記貫通孔を規定する壁部の表面には、前記光電面からの光電子をカスケード増



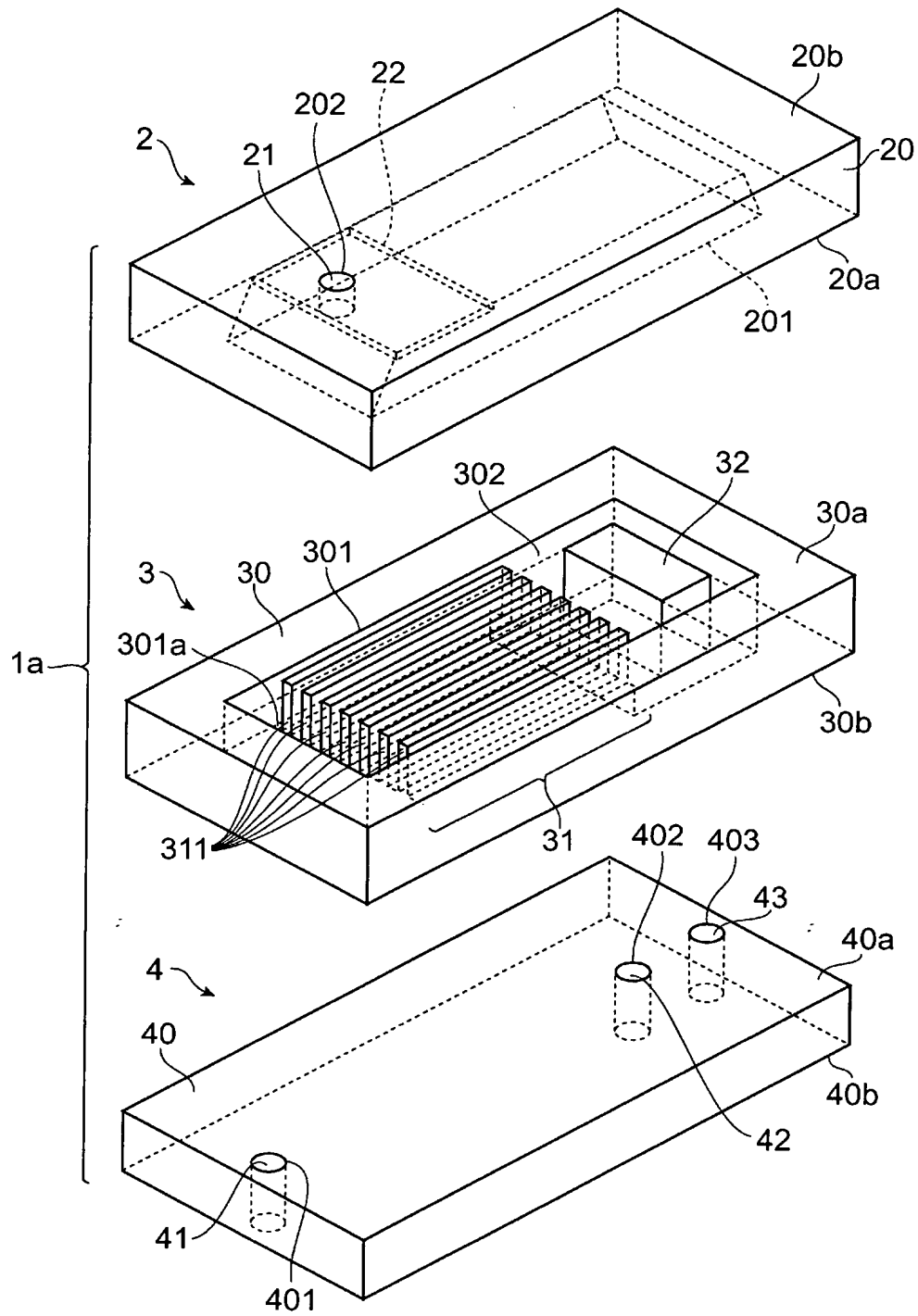
倍するための二次電子放出面が表面に形成された1又はそれ以上の凸部が設けられている光電子増倍管。

- [5] 請求項4記載の光電子増倍管において、  
前記貫通孔を規定する壁部の表面に設けられた凸部は、前記電子の進行方向から見て互いにずれた位置に配置されている。

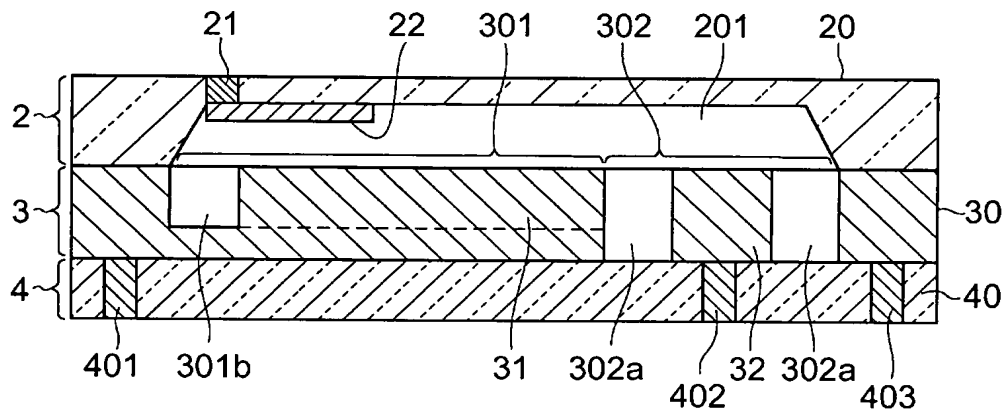
[図1]



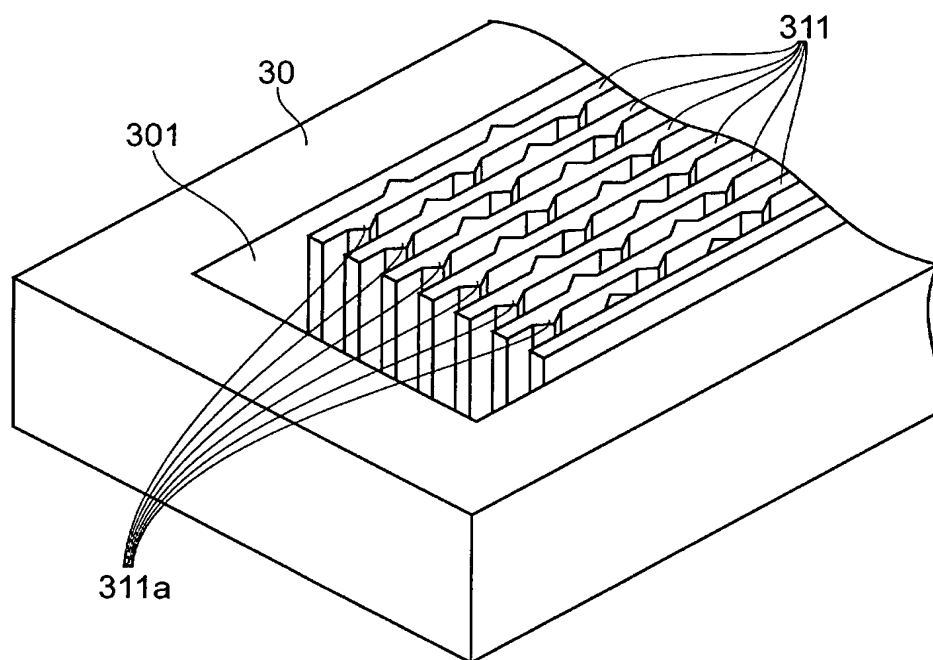
[図2]



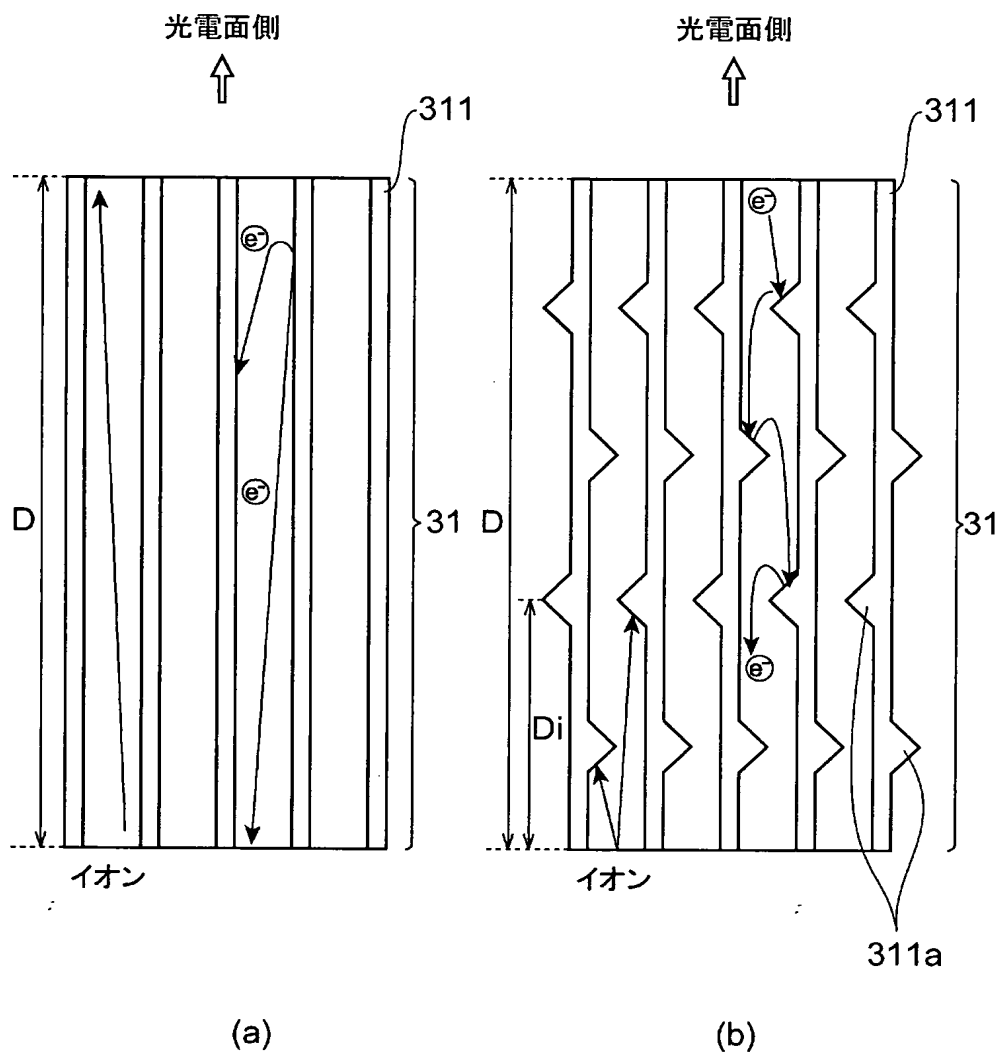
[図3]



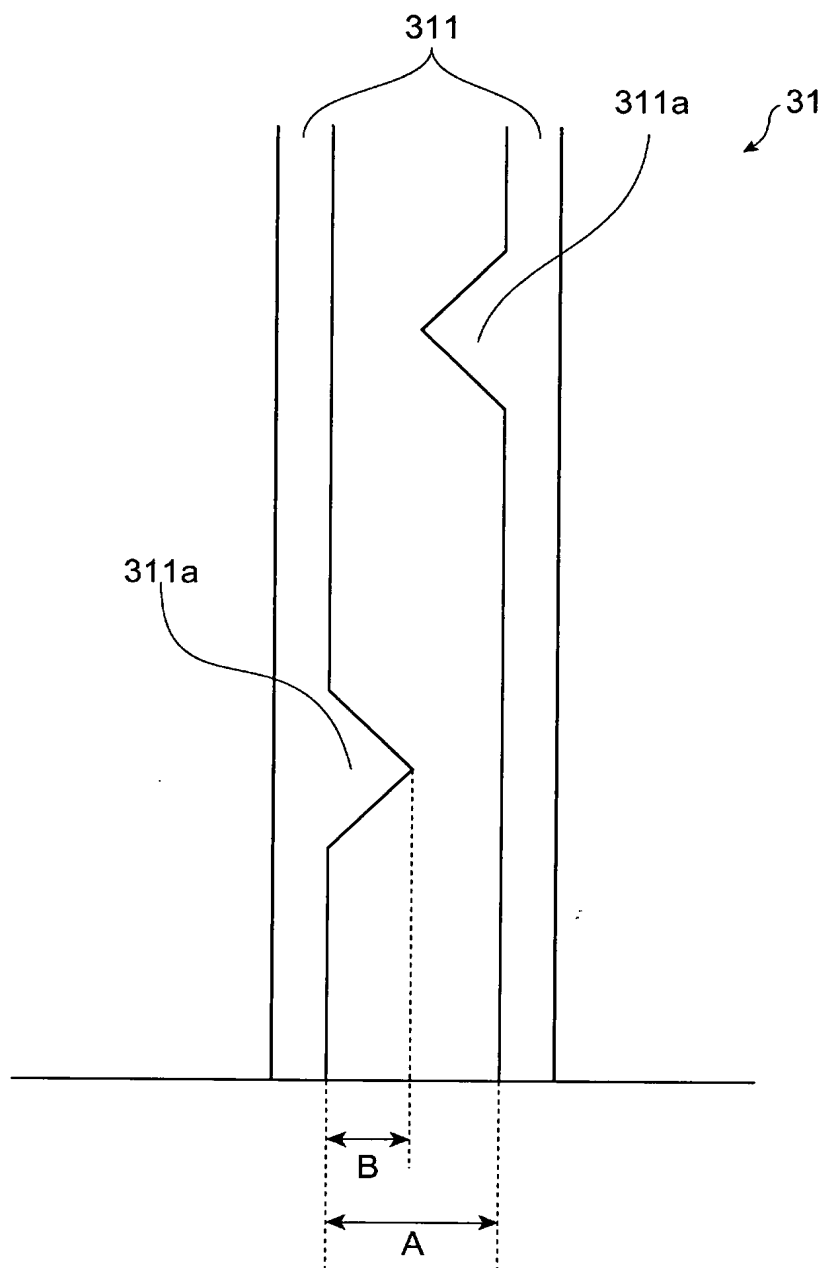
[図4]



[図5]

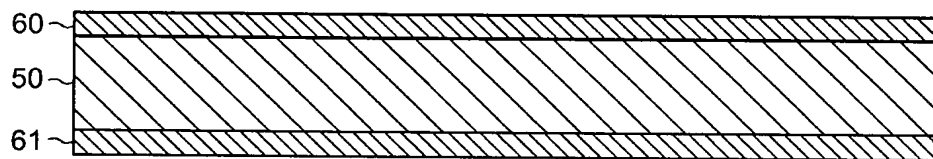


[図6]

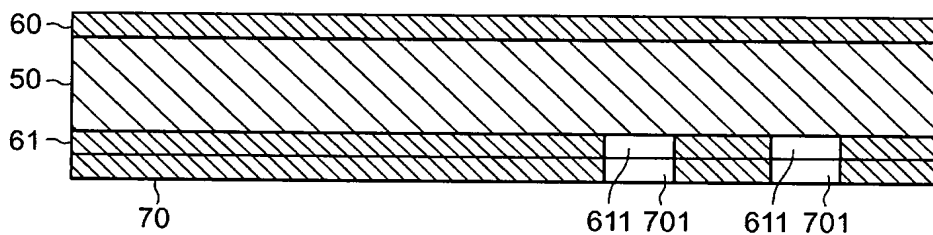


[図7]

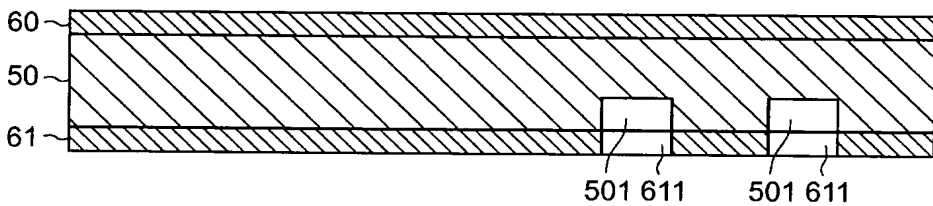
(a)



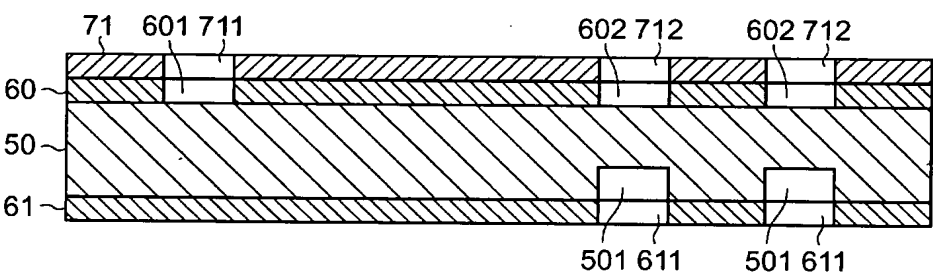
(b)



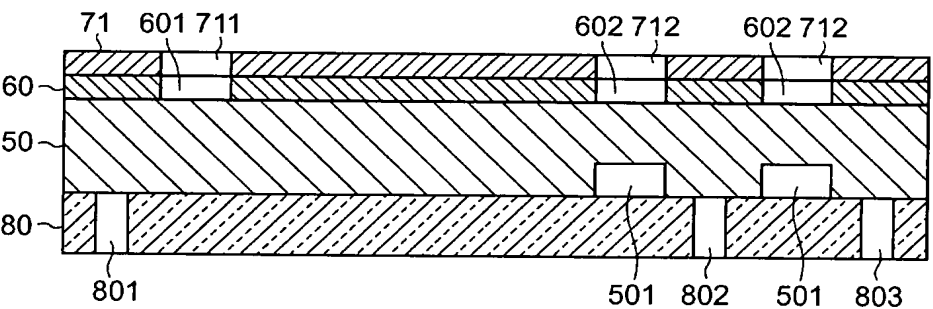
(c)



(d)

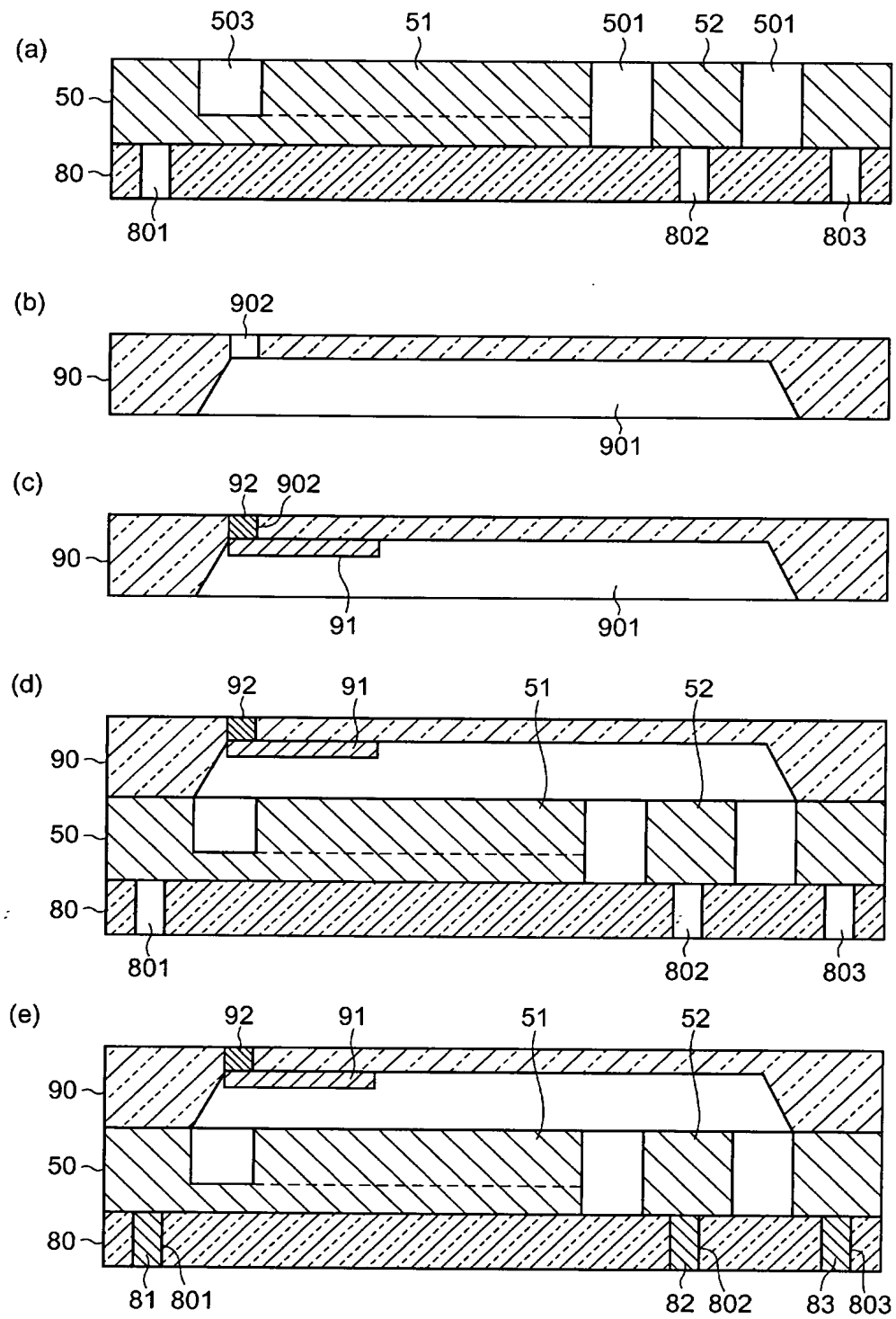


(e)

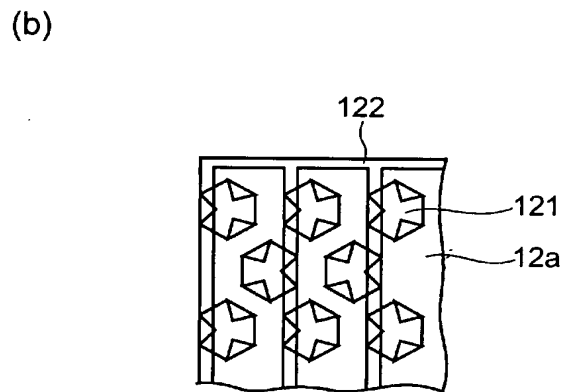
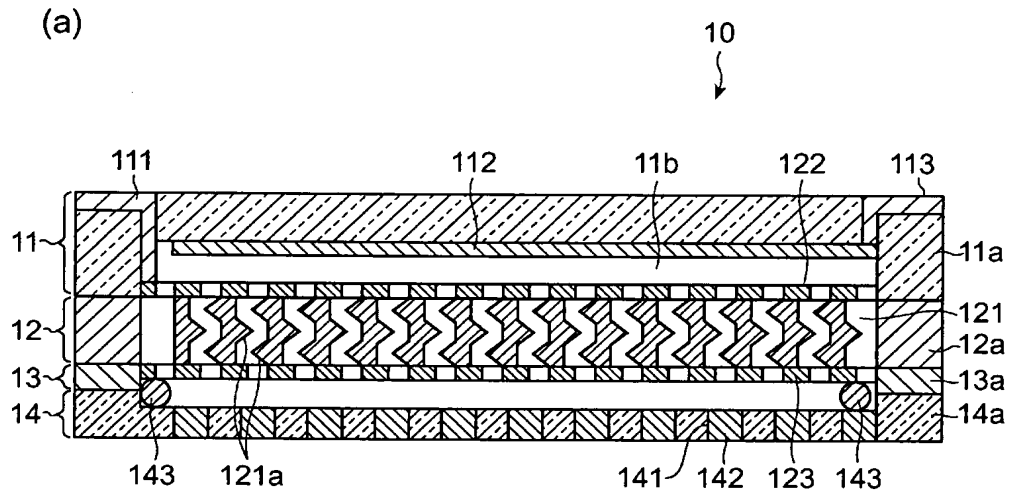




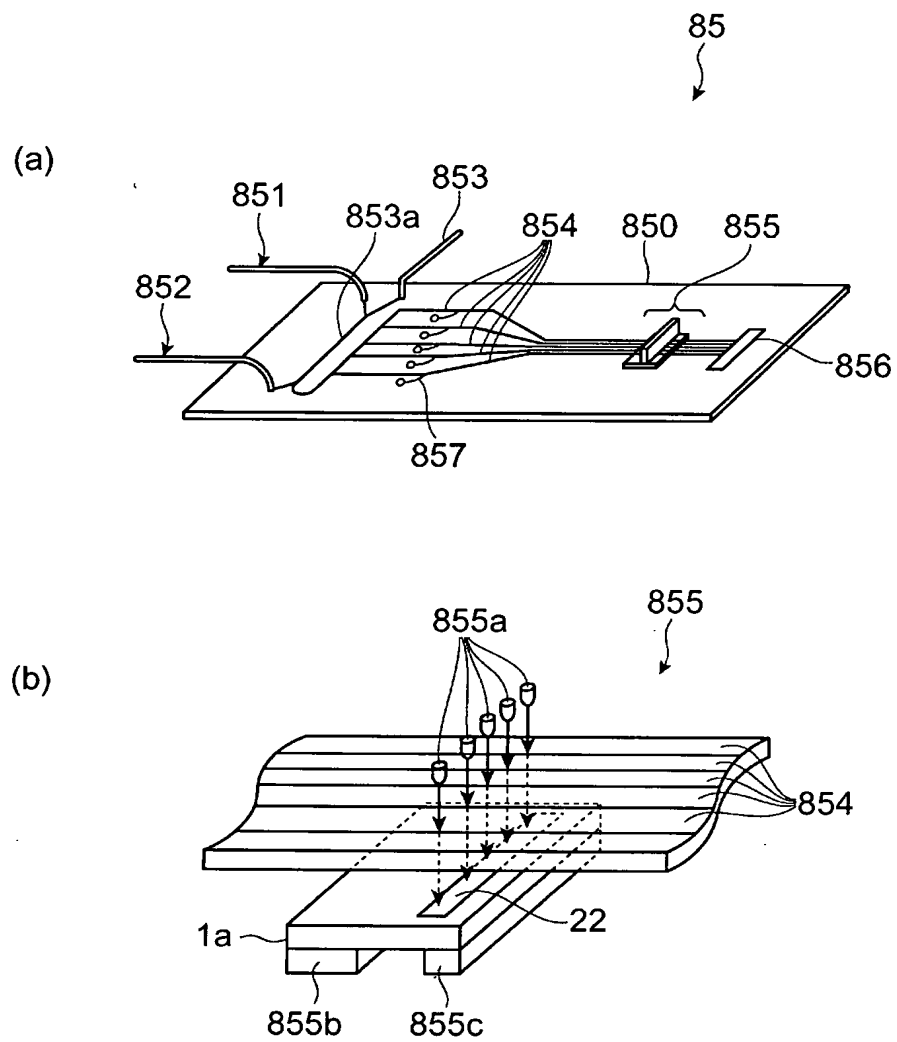
[図8]



[図9]



[図10]



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/002302

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
Int. Cl.<sup>7</sup> H01J43/24

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
Int. Cl.<sup>7</sup> H01J43/00-43/30Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched  
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2005  
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2005 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2005

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 5568013 A (CENTER FOR ADVANCED FIBEROPTIC APPLICATIONS), 22 October, 1996 (22.10.96), Column 3, line 43 to column 4, line 8; column 6, 6th line from the bottom to column 7, line 44; Figs. 13 to 17 (Family: none)	1-3
Y	US 3244922 A (INTERNATIONAL TELEPHONE AND TELEGRAPH CORP.), 05 April, 1966 (05.04.66), Fig. 7 (Family: none)	1-3

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

## \* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
17 May, 2005 (17.05.05)Date of mailing of the international search report  
07 June, 2005 (07.06.05)Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/002302

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 5-144410 A (Commissariat A L'energie Atomique), 11 June, 1993 (11.06.93), Full text; all drawings; particularly, Fig. 14 & US 5367218 A & EP 515261 A1 & DE 69209560 C & FR 2676862 A	4, 5 1-3
X Y	JP 2000-113851 A (New Japan Radio Co., Ltd.), 21 April, 2000 (21.04.00), Full text; all drawings; particularly, Par. No. [0037] (Family: none)	4 5
Y	US 3374380 A (Geoge W. GOODRICH), 19 March, 1968 (19.03.68), Fig. 5 & GB 1126088 A & FR 1499715 A	5
A	JP 50-16145 B1 (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 11 June, 1975 (11.06.75), Full text; all drawings & US 3621320 A & GB 1260543 A & DE 1927603 A & FR 2009755 A & NL 6908253 A	1-5
A	US 3375184 A (MATSUSHITA ELECTRIC INDUSTRIAL CO.), 22 May, 1973 (22.05.73), Full text; all drawings & GB 1014807 A & DE 1261832 B & FR 1412239 A & BE 639094 A & CH 420074 A & NL 6412243 A	1-5

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. <sup>7</sup> H01J43/24		
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. <sup>7</sup> H01J43/00-43/30		
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2005年 日本国実用新案登録公報 1996-2005年 日本国登録実用新案公報 1994-2005年		
国際調査で使用了電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	US 5568013 A (CENTER FOR ADVANCED FIBEROPTIC APPLICATIONS) 1996. 10. 22, 第3欄43行-第4欄8行, 第6欄下から6行-第7 欄44行, 図13-17 (ファミリーなし)	1-3
Y	US 3244922 A (INTERNATIONAL TELEPHONE AND TELEGRAPH CORPORATION) 1966. 04. 05, 図7 (ファミリーなし)	1-3
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す) 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願		
の日の後に公表された文献 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」 同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日 17. 05. 2005	国際調査報告の発送日 07. 6. 2005	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官 (権限のある職員) 堀部 修平 電話番号 03-3581-1101 内線 3226	2G 9215

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X Y	JP 5-144410 A (コミツサリア タ レネルジー アトミック) 1993. 06. 11, 全文, 全図, 特に図 1 4 & US 5367218 A & EP 515261 A1 & DE 69209560 C & FR 2676862 A	4, 5 1-3
X Y	JP 2000-113851 A (新日本無線株式会社) 2000. 04. 21, 全文, 全図, 特に段落【0037】(ファミリーなし)	4 5
Y	US 3374380 A (Geoge W. GOODRICH) 1968. 03. 19, 図 5 & GB 1126088 A & FR 1499715	5
A	JP 50-16145 B1 (松下電器産業株式会社) 1975. 06. 11, 全文, 全図 & US 3621320A & GB 1260543 A & DE 1927603 A & FR 2009755 A & NL 6908253 A	1-5
A	US 3375184 A (MATSUSHITA ELECTRIC INDUSTRIAL CO.) 1973. 05. 22, 全文, 全図 & GB 1014807 A & DE 1261832 B & FR 1412239 A & BE 639094 A & CH 420074 A & NL 6412243 A	1-5